

SOĞUTKAN SIZINTILARININ FİNANSAL VE ÇEVRESEL MALİYETLERİ FINANCIAL AND ENVIRONMENTAL COSTS OF REFRIGERANT LEAKS

Kadir İSA
Friterm Akademi

ÖZET

Soğutma sistemlerinde montaj, demontaj, işletmeye alma, bakım ve arıza teşhisi işlemleri esnasında doğru servis tekniklerinin kullanılmaması nedeniyle önemli miktarda soğutkan atmosfere sızmaktadır. Bu sızıntının doğrudan çevresel etkilerinin yanı sıra, sızıntı sonucunda soğutma sisteminin istenen işletme şartlarında çalışmaması nedeniyle ortaya çıkan ek enerji sarfiyatları da dolaylı çevresel etkinin önemli bir bileşeni olmaktadır.

Bu incelemede, soğutkan sızıntılarının çevresel ve finansal etkileri genel hatları ile ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğutkan, sızıntı, çevre, finansal etki, florlu sera gazları

ABSTRACT

A significant amount of refrigerant leaks into the atmosphere due to not using the correct service techniques during assembly, disassembly, commissioning, maintenance and fault diagnosis processes in refrigeration systems. In addition to the direct environmental effects of this leak, the additional energy consumption due to the refrigeration system not operating under the desired operating conditions as a result of the leak is also an important component of the indirect environmental impact.

In this review, the environmental and financial effects of refrigerant leaks are discussed in general terms.

Keywords: Refrigerant, leakage, environment, financial effect, fluorinated greenhouse gases

1. GİRİŞ

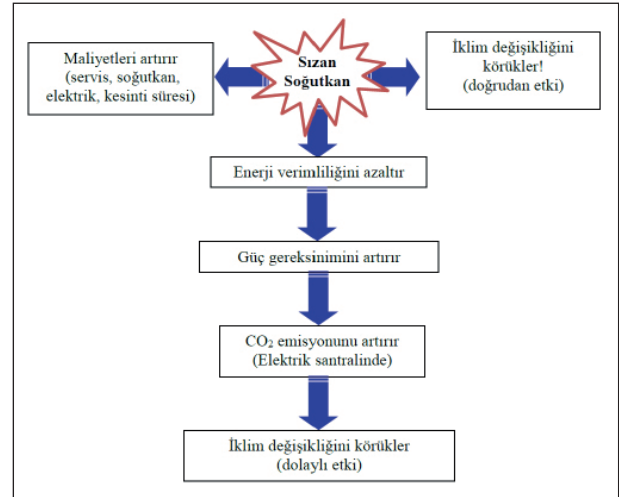
Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerle kısıtlanan geleneksel soğutkanlara alternatif olarak sunulanlar düşük direkt küresel ısınma potansiyeline (KIP-GWP) sahip olmakla birlikte, sızıntı sonucu ortaya çıkan

etkileri (örneğin, enerji tüketimi) geleneksel sentetik soğutkanlara benzerdir. Bununla beraber, R717 (amonyak) ve R290 (propan) gibi doğal soğutkanların zehirli ve yanıcı özelliklere sahip olması, sızıntıların insan sağlığı açısından da dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle soğutkan sızıntıları önemlidir ve cinsi ne olursa olsun en aza indirilmelidir.

2. SOĞUTKAN SIZINTILARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Sızan soğutkanın iklim değişikliğine çift taraflı etkisi vardır;

- Soğutkan küresel ısınma potansiyeline sahipse sızıntı nedeniyle *doğrudan etki*,
- Soğutma sisteminin güç gereksinimi nedeniyle enerji üretim sürecindeki emisyonlardan ötürü *dolaylı etki*.



Şekil 1. Soğutkanların doğrudan ve dolaylı etkileri

Bir sistemin toplam karbon emisyonu, hem sızan soğutkanın doğrudan etkisini hem de sistemin güç tüketimi nedeniyle ortaya çıkan dolaylı etkiyi içerir (Şekil 1). İklimlendirme ve soğutma sistemleri tüm dünyadaki sera gazı emisyonlarının yaklaşık %10'undan sorumludur. Bunun %8'lik kısmı elektrik enerjisinin kullanımı nedeniyle *dolaylı etki*, %2'si ise soğutkan sızıntıları sonucu ortaya çıkan *direkt etkidir*. →

2.1. Küresel Isınma Potansiyeli (KIP/GWP)

Bir soğutkanın KIP değeri, belirli bir sera gazı kütlesinin (örneğin, HFC soğutkan) küresel ısınmaya ne kadar katkıda bulunduğu ölçüsüdür. Söz konusu sera gazını, aynı miktar karbondioksit (KIP/GWP = 1) kütlesine bağlı kıyaslayan bir ölçektir. KIP/GWP, belirli bir zaman aralığı esas alınarak hesaplanır ve bu zaman aralığı KIP/GWP referans verildiğinde belirtilmelidir (Örneğin, GWP_{100}). Aksi durumda, belirtilen değer anlamsız olacaktır.

Yüksek KIP/GWP'ye sahip olan HFC cinsi soğutkanlar çok fazla kızılötesi radyasyonu absorbe etme ve atmosferde uzun bir ömre sahip olma eğilimindedir.

2.2. KIP/GWP ve Karbondioksit Eşdeğeri

Karbondioksit eşdeğerliği, belirli bir karışım veya saf sera gazı miktarı için, belirli bir zaman ölçeği (genellikle 100 yıl) üzerinden ölçüldüğünde, aynı küresel ısınma potansiyeline (KIP/GWP) denk gelen CO₂ miktarını tanımlayan bir değerdir. Bir soğutkanın karbondioksit eşdeğerliği, kütlesi

(ağırlık) ve KIP/GWP'sinin çarpımı ile elde edilir. Aşağıdaki birimler yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Kg olarak karbondioksit eşdeğeri (kg CO₂e).
- Ton olarak karbondioksit eşdeğeri (T CO₂e).
- Milyon ton olarak karbondioksit eşdeğeri (MT CO₂e).

Örneğin, 100 yıllık bir periyotta R290 (propan)'ın KIP/GWP'si **3** ve R32 için ise **675**'dir. Bu durumdan aşağıdaki anlamlar çıkarılabilir:

- 1 ton R290, 3 ton karbondioksit emisyonuna eşdeğerdır (T CO₂e).
- 1 ton R32, 675 ton karbondioksit emisyonuna eşdeğerdır (T CO₂e).

2.3. Sızıntının Çevresel Maliyetinin Hesaplanması

Sızıntının iklim değişikliği üzerindeki doğrudan etkisi basit bir şekilde, soğutkanın KIP/GWP'sinin belirli bir zamanda sızan miktarla çarpılmasıyla hesaplanır. Tablo 1'de iki soğutkan, emisyonların doğrudan etkisi açısından karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. İki soğutkanın doğrudan etkisinin hesaplanması ve karşılaştırılması

	Örnek A Geleneksel HFC'li Sistem	Örnek B Düşük KIP/GWP Değerine Sahip Soğutkanlı Sistem
Soğutkan	R404A	R32
Şarj Miktarı	10 kg	10 kg
KIP/GWP	3922	675
Kaydedilen Sızıntı	Sızıntı sonucu soğutkan kaybını karşılamak üzere her iki sisteme de bir yılda 2 kg soğutkan eklendiği kabul edilmiştir (Sızıntı oranı %20).	
Toplam Doğrudan Etki	2 x 3922 = 7822 kg CO₂e	2 x 675 = 1350 kg CO₂e

Tablo 1'de B örneğinde, 2 kg R32 sızıntısının doğrudan etkisi 1350 kg CO₂e'dir. Bu, bir motorlu araçta 6750 km sürüşe eşdeğerdır (ortalama bir benzinli araç için km başına 0,2 kg CO₂e varsayılarak). Buradan hareketle, sızıntıları gidermek üzere bir servis aracının ortalama olarak katetmek zorunda olduğu mesafeyi dikkate aldığımızda, dolaylı CO₂ emisyonunun etkisinin daha da belirginleştiğini rahatlıkla ifade edebiliriz.

3. SIZINTILARIN FİNANSAL MALİYETİNİN HESAPLANMASI

Sızıntının toplam finansal maliyetini doğru olarak hesaplamak çok zordur. Bu maliyete katkıda bulunan unsurlar aşağıda belirtilmiştir.

•**Soğutkan** - Soğutkanın satın alma fiyatından ve kullanılan miktarlardan (satın alma maliyeti önemli ölçüde farklılıklar gösterebilir) hesaplanması kolaydır.

•**Sızıntıyı bulmak, tamir etmek ve soğutkan ile yeniden şarj edilmesi** için işçilik ve malzeme detayları servis kayıtlarından kolayca bulunabilir, ancak bir sızıntıyı onarmak için yapılması gerekenler, sızıntının yeri ve büyüklüğüne ve sistemin tipine bağlı olarak değişiklik gösterebilecektir.

•**Eksik soğutkan nedeniyle sistemin ek işletme maliyeti** - Enerji tüketimine karşılık şarj miktarının farklı sistemlere göre değişiklik göstermesi ve çok az uygulama verisi bulunması nedeniyle tahmin edilmesi

zor olabilir. Bu yazıda basit bir örneğe yer verilmiştir.

▪**Durma (kesinti) süresi ve sonucunda meydana gelen kayıplar** – Bir soğuk muhafaza uygulamasında soğutkan sızıntısı nedeniyle sistemin düşük soğutma kapasitelerinde çalışması ya da alçak basınç kontrollerinin devreyi açması sonucunda soğutma/derin dondurma süreçlerinde yaşanacak olası kesintiler, ürün bozulmalarına sebep olabilecektir. Maliyetler, sızıntının ne kadar hızlı bulunduğu ve onarıldığına bağlı olarak değişecektir.

3.1. Sistemin İşletme Maliyeti

Sızıntı ve enerji verimliliği arasında basit bir korelasyon yoktur. Soğutkan sızıntısının enerji tüketimi üzerindeki etkisi, aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi sisteme bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterir.

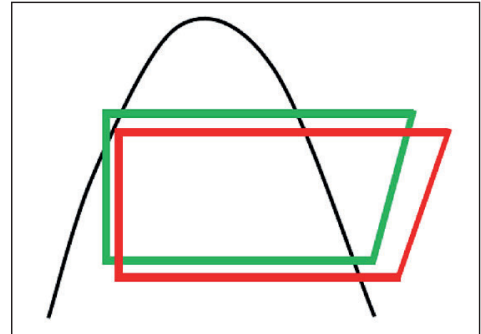
Tablo 2'de değişik soğutma sistemlerinde soğutkan sızıntısının muhtemel etkileri yer almaktadır.

Tablo 2. Soğutkan sızıntısının değişik sistem tipleri üzerine etkisi

Sistem tipi	Sızıntının etkisi
Sıvı tankı olmayan küçük sistemler, paket sistemler, split klimalar	Soğutkan şarjının sadece %5'inin sızması verimi düşürecektir, çünkü sıvı hattındaki soğutkan aşırı soğutulmuş (subcooled) olması gerekirken doymuş sıvı fazında bulunacaktır. Daha az sıvı soğutkan evaporatöre (buharlaştırıcı) akacaktır. Bu durum emme basıncını ve doymuş buhar sıcaklığını azaltır. Buharlaştırma sıcaklığındaki 1 °C'lik bir düşüş, verimliliği %2 ila %4 arasında azaltacaktır (ve elektrik tüketimini artıracaktır).
Sıvı tankı bulunan basit kondenser üniteli evaporatörler; örneğin, küçük perakende sistemler, soğuk odalar, chiller	Sıvı tankı, sadece aşırı işletme koşullarında (örneğin, maksimum yük ve maksimum ortam sıcaklığı) devreye giren bir soğutkan tampon bölgesi işlevine sahiptir. Sızıntı olduğunda, kritik şarj miktarına ulaşana kadar geçecek süre; sızıntı miktarı, ısı yükü ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişecektir. Bu durumda, sızıntının enerji tüketimi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur, ancak potansiyel bir emniyet ve çevresel etki söz konusudur.
Çok kompresörlü merkezi sistemler, örneğin, büyük süpermarket soğutma sistemleri, endüstriyel tesisler	Sıvı tankı, soğutma kapasitesi üzerinde bir etki görülene kadar sızan soğutkanı kompanze edecektir. Bu noktada, sistemin en uzak noktasındaki evaporatöre yetersiz debide soğutkan ulaşacak ve solenoid valf istenen soğutma kapasitesini elde etmek üzere daha uzun süre açık kalacaktır. Sızıntı devam ettikçe evaporatöre daha az soğutkan gitmeye başlayacaktır. Sonunda sistem, aynı soğutma etkisini sağlamak üzere daha uzun süre çalışmak zorunda kalacaktır.

3.2. Bir Basınç-Entalpi (P-h) Diyagramında Sızıntı Etkisinin İfadesi

Şekil 2, soğutkan kaçaklarının sistem performansını nasıl etkileyebileceği P-h diyagramında basitçe ifade edilmektedir. Sızıntının, basma ve emme basıncını azalttığını, ancak kızgınlığı (superheat) artırdığı görülmektedir (kırmızı çevrim). Bu durum, soğutma tesir katsayısını (STK) da azaltacaktır



Şekil 2. Soğutkan sızıntısının işletme değerlerine etkisinin P-h diyagramında gösterimi

3.3. Sızıntı Kaynaklı Enerji Maliyetleri

Aşağıdaki basit örnek, kondenser üniteli tek evaporatörlü sistem içindir. 10 kW'lık bir soğutma yüküne sahip, düşük sıcaklık soğuk oda uygulamasıdır. Sistem tam şarjlı olduğunda aşağıdaki işletme koşullarına sahiptir:

- Buharlaştırma sıcaklığı -25 °C,
- 5 K kızgınlık (superheat),
- 15 °C emiş sıcaklığı,
- 7 K aşırı soğuma (subcooling)
- Kondenser sıcaklık farkı 10 K



Tablo 3. Sistem performansına ilişkin hesaplamalar

	Tam şarjlı sistem	Eksik şarjlı sistem
Soğutma Kapasitesi (kW)	12,9	9,9
Güç Gereksnimi (kW)	8,2	8,0
STK*	1,57	1,24
Yıllık işletme maliyeti	€ 5.725	€ 6.955

*STK (Soğutma Tesir Katsayısı), soğutma kapasitesi/güç gereksnimi.

Yukarıdaki tabloda yer alan veriler, tam yük koşullarında ve 0,175 Euro/kWh'lık birim elektrik enerjisi maliyetine dayanmaktadır. Tablo 3'e bakıldığında eksik şarjlı sistemin işletme maliyetindeki artış dikkat çekicidir. Bu tür bir sistemde sızıntı neticesindeki maliyet artışını doğru olarak belirlemek için bilmemiz gerekenler:

- Tasarım/işletme koşulları,
- Eksik şarjda işletme koşulları (sızıntı devam ettikçe bu durum değişebilir),
- Sistemin eksik şarjda çalıştığı süre,
- Eksik soğutmanın işletme koşullarına etkisi,
- Tam şarjlı ve eksik şarjlı sistemin performans ve işletme maliyetini hesaplamak için sistem/kompresör verileri, ortam sıcaklık profili ve ısı yükü profili.

Birçok sistem için bu bilgi her zaman temin etmek mümkün olmayabilir, ancak çoğu zaman yukarıdaki örnekte de gösterildiği gibi bir tahminde bulunulabilir.

4. SIZINTILARI AZALTMANIN OLUMLU SONUÇLARI

Sızıntının azaltılması, aşağıdaki avantajları beraberinde getirmektedir.

- Florlu Sera Gazları (F-Gaz) Yönetmeliği de dahil olmak üzere mevzuata uyum,
- "Yeşil" kimlik,
- Daha düşük üretim kayıpları, artan satış bağlantıları
- Soğutma veya iklimlendirme sisteminden kaynaklı daha az sağlık ve emniyet riski,
- Daha düşük soğutma maliyeti,
- Daha düşük servis maliyeti,
- Tesisin devre dışı kalmasından kaynaklanan maliyetlerde azalma,
- Eksik soğutma şarjından kaynaklanan enerji verimliliği kayıplarının bertaraf edilmesi.
- İklimlendirme-soğutma sistemlerinin daha verimli çalışması ve dolayısıyla elektrik güç santrallerinde daha düşük CO₂ emisyonları,
- Daha düşük sera gazı emisyonu.

Bu faaliyetlerin artan servis/bakım veya bazı ek harcamaları da beraberinde getireceği kabul edilerek değerlendirilmesi gerekir, ancak fark genellikle pozitifdir.

5. SONUÇ

Sentetik ya da alternatif soğutma sızıntıları sonucu oluşan sera gazı emisyonlarının doğrudan ve dolaylı etkileri, çevresel ve ekonomik maliyetler açısından dikkate alınması gereken önemli hususlardan birisidir.

Ülkemizde Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Florlu Sera Gazları Yönetmeliği'nin en önemli bileşenlerinden olan gerçek/tüzel kişi sertifikasyon sürecinin yegane hedefi de, gerçekleştirilen tüm servis işlemleri esnasındaki soğutma sızıntılarını en aza indirecek iyi uygulamaların yaygınlaştırılmasıdır. Bu amaçla Mesleki Yeterlilik Kurumu (MYK) tarafından hazırlanan ve uygulamaya giren 19UY0401-5 Florlu Sera Gazlı Cihazlar Teknik Personeli yeterliliğinin uygulama sonuçları oldukça önem arz etmektedir. ■

6. KAYNAKLAR

- [1]Real Alternatives 4 LIFE Blended Learning Programme, Module 7, Institute of Refrigeration, 2018.
[2]İklimlendirme Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği, Friterm Yayınları, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Kadir İSA

1980'de Haydarpaşa Teknik Lisesi makina bölümünden mezuniyetinin ardından, lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini sırasıyla Gazi, İstanbul ve Sakarya üniversitelerinin makina eğitimi/makina mühendisliği bölümlerinde tamamlamış, bir yıl süreyle İngiltere ve ABD'de öğretim teknikleri ile iklimlendirme-soğutma teknolojisi alanlarında eğitim görmüştür. Değişik üniversitelere bağlı meslek yüksekokullarının iklimlendirme-soğutma ile makina mühendisliği bölümlerinde yaklaşık 30 yıl süreyle soğutma-iklimlendirme alanında dersler vermiştir.

ASHRAE (TC 3.3-Refrigerant Contaminant Control) ve Institute of Refrigeration (IOR) üyesidir. Halen Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.